

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表 2001-502136

(P 2001-502136A)

(43) 公表日 平成13年2月13日(2001.2.13)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)	
H 0 3 H	3/04	H 0 3 H	3/04	B
H 0 1 L	41/09		9/17	F
H 0 3 H	9/17	H 0 1 L	41/08	K

審査請求 未請求 予備審査請求 有

(全31頁)

(21) 出願番号 特願平10-517529
(86) (22) 出願日 平成9年9月12日(1997.9.12)
(85) 翻訳文提出日 平成11年4月9日(1999.4.9)
(86) 国際出願番号 PCT/US97/16234
(87) 国際公開番号 W098/15984
(87) 国際公開日 平成10年4月16日(1998.4.16)
(31) 優先権主張番号 08/728,568
(32) 優先日 平成8年10月10日(1996.10.10)
(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 ノキア モービル フォーンズ リミテッド
フィンランド共和国、フィン—02150 エ
スポー、ケイララハデンチエ 4
(71) 出願人 ノキア モービル フォーンズ インコー
ポレイテッド
アメリカ合衆国、フロリダ州 33607、タ
ンパ、コートニー キャンプベル コーズ
ウェイ 6200、スイート 900
(72) 発明者 イリラツミ、マルック
フィンランド共和国、フィン—02320 エ
スポー、ペラシン 2アー
(74) 代理人 弁理士 朝日奈 宗太 (外1名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 薄膜バルク音波共振子 (F B A R) をウェーハ上で同調させる方法

(57) 【要約】

ウェーハ上に位置する薄膜バルク音波共振子(FBAR)を同調させる方法である。FBARはそれぞれの厚みを有する複数の層からなっている。FBARは少なくとも1つの層の厚みの関数であるそれぞれの周波数で直列共振と並列共振の少なくとも一方を示す。本発明の方法の第1工程は、FBARが直列共振と並列共振の1つを示す周波数を測定することを含んでいる。次の工程は、測定された周波数と基準周波数との差異を最小限にするために変更する必要がある少なくとも1つの層の厚み数量(A)を計算することを含んでいる。更に次の工程は少なくとも1つの層の厚みを数量(A)だけ変更する工程ことを含んでいる。

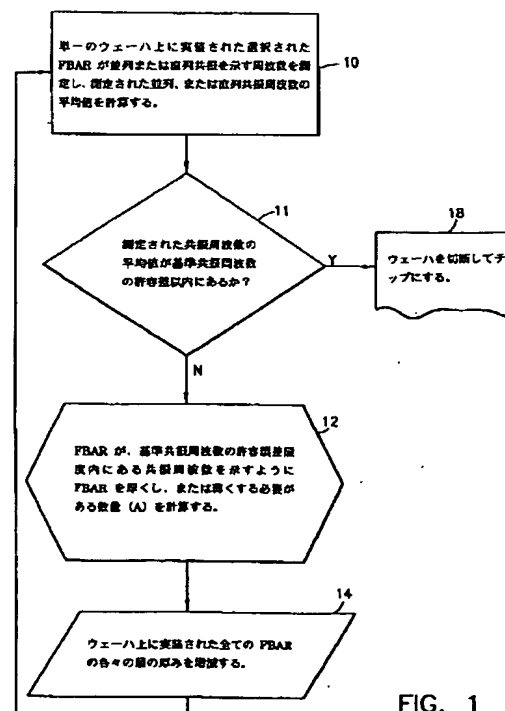


FIG. 1

【特許請求の範囲】

1. それぞれの厚みを有する複数個の層を有し、少なくとも1つの層の厚みの関数であるそれぞれの周波数で直列共振周波数と並列共振周波数の少なくとも一方を示す、ウェーハ上に構成された薄膜バルク音波共振子(FBAR)を同調させる方法において、

FBARが直列共振と並列共振の少なくとも一方を示す周波数を測定する工程と、

測定された周波数と基準周波数との差異を最小限にするために、少なくとも1つの層の厚みを変更する数量(A)を計算する工程と、

少なくとも1つの層の厚みを数量(A)だけ変更することによって、測定された周波数と基準周波数との差異を最小限にする工程

とからなることを特徴とする方法。

2. 前記少なくとも1つの層が上部電極であることを特徴とする請求の範囲第1項記載の方法。

3. 前記少なくとも1つの層が薄膜層であることを特徴とする請求の範囲第1項記載の方法。

4. 前記変更工程を、少なくとも1つの層の一部を除去するか、または少なくとも1つの層に材料を追加するいずれか一方によって実施することを特徴とする請求の範囲第1項記載の方法。

5. 前記変更工程を、上部電極をエッチングすることによって実施することを特徴とする請求の範囲第2項記載の方法。

6. 前記変更工程を、少なくとも1つの層の少なくとも

一部の上に金属材料を蒸着することによって実施することを特徴とする請求の範囲第1項記載の方法。

7. 前記変更工程を写真石版技術によって実施することを特徴とする請求の範囲第3項記載の方法。

8. 各々の薄膜バルク音波共振子(FBAR)がそれぞれの厚みを有する複数の層を有し、各々のFBARが、複数のFBARを形成する少なくとも1つの層の厚

みの関数であるそれぞれの周波数で直列共振と並列共振の少なくとも一方を示す、ウェーハ上に構成された複数の薄膜バルク音波共振子(FBAR)を個々に1つずつ同調させる方法において、

選択された1つのFBARが直列共振と並列共振の少なくとも一方を示す周波数を測定する工程と、

測定された周波数の平均値を計算する工程と、

測定された周波数で計算した平均値と、基準周波数との差異を最小限にするために変更する必要がある少なくとも1つの層の厚みの数量(A)を計算する工程と、

同時に、複数のFBARの各々の少なくとも1つの層の厚みを数量(A)だけ変更することによって、基準周波数と、FBARが示す共振周波数との差異を最小限にする工程

とからなることを特徴とする方法。

9. 変更工程を実施した後で、ウェーハを切断してFBARのチップにする工程を更に含むことを特徴とする請求の範囲第8項記載の方法。

10. 層が薄膜バルク音波共振子(FBAR)上に形成される前に直列共振と並列共振の少なくとも一方を示し、層がFBARの少なくとも一部の上に形成された後は、層

の厚みの関数である周波数で直列共振と並列共振の少なくとも一方を示す、ウェーハ上に構成されたFBARを同調させる方法において、

FBARの上に層が形成される前に、FBARが直列共振と並列共振の少なくとも一方を示す周波数を測定する工程と、

測定された周波数と基準周波数との差異を最小限にするためにFBARの少なくとも一部の上に形成される層の厚みを決定する工程と、

測定された周波数と基準周波数との差異を最小限にするために決定された厚みを有するように誘電材料層を形成する工程

とからなることを特徴とする方法。

11. 前記層が誘電材料からなることを特徴とする請求の範囲第10項記載の方法。

12. 前記層を酸化亜鉛(ZnO)から形成することを特徴とする請求の範囲第10項記載の方法。

13. 機械的マスクを使用して前記形成工程を実施することを特徴とする請求の範囲第10項記載の方法。

14. 層が薄膜バルク音波共振子(FBAR)の上に蒸着される前に、各々のFBARがそれぞれの周波数で直列共振と並列共振の少なくとも一方を示し、層が個々のFBARの少なくとも一部の上に形成された後は、FBARは層の厚みの関数である直列共振と並列共振の少なくとも一方を示す、ウェーハ上に構成された複数のFBARを個々に1つずつ同調させる方法において、

FBARの上に層が形成される前に、選択された1つのFBARが直列共振と並列共振の一方を示す周波数を測定

する工程と、

測定された周波数の平均値を計算する工程と、

測定された周波数で計算した平均周波数と基準周波数との差異を最小限にするために、FBARの少なくとも一部の上に形成されるべき層の厚み(T)を計算する工程と、

同時に、層が厚み(T)を有するように個々のFBARの少なくとも一部の上に層(T)を形成することによって、基準周波数と、FBARによって生ずる共振周波数との差異を最小限にする工程

とからなることを特徴とする方法。

15. 前記層を誘電材料から形成することを特徴とする請求の範囲第14項記載の方法。

16. 前記層を酸化亜鉛(ZnO)から形成することを特徴とする請求の範囲第14項記載の方法。

17. 機械的マスクを使用して前記形成工程を実施することを特徴とする請求の範囲第14項記載の方法。

【発明の詳細な説明】薄膜バルク音波共振子(FBAR)をウェーハ上で同調させる方法技術分野

本発明は薄膜バルク音波共振子(FBAR)に関し、本発明は特にウェーハ上に構成されたFBARの直列および並列の共振周波数を同調させる方法に関する。

発明の背景

薄膜バルク音波共振子(FBAR)は好適にはいわゆる“設計”厚さすなわち定格厚さの許容範囲内にある厚さを有する層からなるように製造される。このようにして、FBARは動作時には直列および並列の設計、すなわち“目標”共振周波数のそれぞれの(例えば $\pm 1\%$ である)許容誤差限度内にある直列および並列の共振周波数(まとめて“共振周波数”とも呼ばれる)を示す。しかしFBARを形成する薄膜層には必ずしも再現性がないという事実により、これらの層は必ずしも精密な設計厚さに形成されないことがある。その結果、例えば複数のFBARを製造した場合は、これらのFBARには目標共振周波数の許容誤差限度を超える共振周波数を示すものがある。

同じウェーハ上に製造された他のFBARによって生じた共振周波数が $\pm 1\%$ の範囲内の直列および並列共振周波数を示すFBARを有するウェーハを製造するための、高品質の製造環境が従来から公知である。しかし、1つのウェーハ上で製造されたFBARは必ずしも、他のウェー

ハ上で形成されたFBARによって発生する共振周波数が前記範囲内にある共振周波数を示すとは限らない。例えば、多数の別個のウェーハ上に形成されたFBARの薄膜層の厚みが 3% 変動した場合、および各FBARが5層からなっている場合、これらの素子の共振周波数には 7% の変動が生ずることがある。共振周波数がこのように変動する結果、多数のウェーハが設計共振周波数の許容差を超える共振周波数を発生するFBARを有することがある。例えば、多数の別のウェーハからのFBARの共振周波数の標準偏差が $\pm 3\%$ である場合、設計共振周波数の $\pm 1\%$ 以内の範囲の共振周波数を発生するFBARを有するウェーハは僅

か36%に過ぎない。残念ながら、このような不均一は一般にはFBARをウェーハから分離し、その共振周波数を測定した後でなければ判明しない。

このような問題点に鑑み、FBARがウェーハ上に形成された後で実施でき、発生した共振周波数と対応する設計共振周波数との不均一が最小限になるようにFBARが発生した共振周波数を調整、すなわち“同調”するために使用できる技術を提供することが望ましいことが分かる。

水晶素子によって発生した共振周波数を同調させようと試みる公知の技術の1つには、素子の選択された部分に機械的なマスクを通して金のような金属を蒸着する技術が含まれている。残念ながら、この技術にはブリッジ構造のFBARで実施するには困難で、高価であるフォトリソグラフ（写真石版）技術が必要である。

このように、FBARが発生する共振周波数を安価で簡単に同調させる方法を提供することも望ましい。

発明の目的

本発明の目的の1つは、発生した共振周波数とそれぞれの設計共振周波数との不均一が最小限になるように、薄膜バルク音波共振子(FBAR)によって発生した共振周波数を同調させる簡単で安価な方法を提供することにある。

本発明のその他の目的と利点は図面とその後の説明を検討することによって明らかになる。

発明の概要

上記の、およびその他の問題点はウェーハ上の薄膜バルク音波共振子(FBAR)を同調させる方法によって解消され、かつ本発明の目的が達成される。

FBARはそれぞれの厚みを有する複数の層からなり、少なくとも1つの層の厚みの関数であるそれぞれの周波数で直列共振と並列共振のうちの少なくとも一方を示す。本発明の方法はFBARが直列共振と並列共振の一方を示す周波数を測定する第1の工程を含んでいる。次の工程には、測定された周波数といわゆる“設計”周波数、すなわち基準周波数との差異を最小限にするために必要な、少なくとも1つの層の厚みを変更する数量(A)を計算することが含まれる。

次の工程には、少なくとも1つの層の厚みを(A)の数量だけ変更することが含まれる。好適には、この工程は層から材料を除去するために実施される。材料を加えることによっても同調を達成できるものの、層に材料を加えるとF B A R内で短絡が発生することがあるので、短絡をなくするには追加された材料の一部を除去する余分な

工程が必要になる。

少なくとも1つの層の厚みを変更する工程の結果、測定された周波数と基準周波数との差異が最小限になる。

本発明に基づいて、少なくとも1つの層とは上部電極と薄膜層のうちの一方である。少なくとも1つの層が上部電極である場合は、厚み変更工程は例えばフッ素プラズマまたは塩素プラズマの一方の中で上部電極をエッチングすることによって行われる。

ウェーハ上に複数個のF B A Rを構成する場合は、上記の測定工程は選択された1つのF B A Rが直列共振と並列共振の一方を示す周波数を測定することによって行われる。次に、測定された周波数の平均値が計算される。次の工程には、測定周波数の計算された平均値と基準周波数との差異を最小限にするために必要である、各々の選択されたF B A Rの少なくとも1つの層の厚みの変更量(A)を計算することが含まれる。

その後、複数個のF B A Rの各々の少なくとも1つの層の厚みが(A)の量だけ変更される。このようにして、複数個のF B A Rをウェーハ上で同調させることができる。その他の工程にはウェーハを個々のF B A Rチップに切断したり、ダイシングすることが含まれる。

本発明の方法を単一ウェーハのF B A Rに適用することに加えて、本発明の方法は複数個のウェーハがある場合にも実施することができる。この場合、各々のウェーハのF B A Rを同調させるために上記の工程を実施できる。このようにして、各々のウェーハを個々に同調して、ウェーハのそれぞれのF B A Rが設計共振周波数の±1%の誤差限度内の範囲の共振周波数を示すようにすることがで

きる。

複数個のウェーハのFBARによって示される直列共振周波数の標準偏差が3%であるような例では、目標共振周波数を4.5%下回る共振周波数を発生するようにFBARを設計することによって、ウェーハの99.7%までを良好に同調させることができる。この例の標準偏差曲線を図11に示してある。

本発明の別の側面では、それぞれのFBARの一部に誘電材料層を加えることによってFBARの同調を達成してもよい。誘電材料をFBAR上に蒸着した後、材料の一部が電極の接点パッドを覆っていることがある。このような場合は、接点パッドにワイヤを結線できるように蒸着材料の上記の部分が除去される。

図面の簡単な説明

本発明の上記の、およびその他の特徴は添付図面を参照して以下の本発明の詳細な説明を読むことによってより明らかにされる。

図1はウェーハ上に構成された薄膜バルク音波共振子(FBAR)によって発生する直列共振周波数と並列共振周波数の少なくとも一方を同調させるために、本発明に従って実施される方法の流れ図を示している。

図2はウェーハ上に形成された“設計”FBARの実施例の断面図であり、FBARは定格厚み、すなわち設計厚みを有する層から構成されている。

図3aはウェーハ上に構成されたFBARの実施例の部分の断面図であり、上部電極層の厚みTを示している。

図3bはウェーハ上に形成されたFBARの実施例を示し

ており、FBARは薄膜保護層を備えている。

図4は図1の方法を実施した後の図3aのFBARとウェーハとを示している。

図5はFBARの上部電極の厚みと、FBARによって発生される直列共振周波数との関係を示したグラフである。

図6aはウェーハ上に構成されたFBARの断面図を示しており、厚みがT1である薄膜層が示されている。

図6bは図1の方法を実施した後の図6aのFBARとウェーハとを示している

。

図7は上部に複数個のFBARが形成されたウェーハの実施例である。

図8はFBARによって発生される直列共振周波数と並列共振周波数の少なくとも一方を同調させるために本発明に従って実施される方法の流れ図を示しており、前記の同調はFBARの選択された部分に誘電材料を加えることによって達成される。

図9はFBARの選択された部分の上が開かれた機械的マスクを通して誘電材料が蒸着される、図8の方法の1工程の例を示している。

図10はFBARによって発生される直列共振周波数と、酸化亜鉛(ZnO)製の誘電材料の追加層の種々の厚みとの関係を示したグラフである。

図11は本発明の方法が採用された実施例の標準偏差曲線である。

発明の詳細な説明

ウェーハ上に薄膜バルク音波共振子（以下“FBAR”と呼ぶ）を製造しても、定格、すなわち“設計”共振周

波数の許容誤差限度（例えば1%以内）内にある実際の並列および直列共振周波数（まとめて“共振周波数”とも呼ばれる）を生ずるFBARを必ずしも常に製造できる訳ではない。FBARを形成する層の厚みと、これらの層を形成する材料の種類はFBARが共振する周波数に少なくとも部分的に影響するので、FBARの設計上の層の厚みと実際の厚みとのあいだに生じる不均一の結果、設計共振周波数と実際の共振周波数との間に不均一が生ずることがある。

発明者は、ウェーハ上に形成される個々のFBARの構造を変更することによって、ウェーハをダイシングする前に、設計直列共振周波数または並列共振周波数のそれぞれの許容誤差限度（例えば1%以内）内にある直列または並列共振周波数を生ずるように、FBARを“同調”することができることを認識した。このようにして、発明者は上記の同調を行う安価な方法を開発した。

本発明の好適な方法に従って、複数のFBARの中の個々のものの上部電極層の厚みを薄くすることによってFBARが同調される。この方法は、この方法を実施する流れ図と、設計寸法、すなわち基準寸法を有するFBAR19の実施例の

断面図をそれぞれ示した図1および図2を参照することで理解されよう。当該の方法は後述する多くの工程からなっている。F B A R 19はウェーハ20上に構成された上部電極28と、下部電極24と、圧電層26と、ブリッジ、すなわち“薄膜”層22とからなっている。説明上の目的で、F B A R 19は“設計基準F B A R”と記載され、実際のF B A Rがそれに基づいて製造される設計バージョン、もしくはモデルバージョンのF B A Rを表している。1つの実施

例では、F B A R 19は、(a)上部および下部電極24と28の各々が厚さ300nmのモリブデン(Mo)からなり、(b)圧電層26が厚さ2060nmの酸化亜鉛(ZnO)からなり、かつ(c)ブリッジ層22が厚さ400nmの酸化シリコン(SiO₂)からなるように設計されるものと想定されている。更に、F B A R 19が954.6MHzの周波数で直列共振を有するように設計されるものと想定されている。

処理プロセスの第1工程が図1のブロック10によって示されている。この工程のために、選択されたF B A Rが直列共振周波数と並列共振周波数の一方を示す周波数を測定するため、単一のウェーハ上に製造された選択された数のF B A Rでサンプル測定が行われる。選択されるF B A Rの数と所在位置は、後述するように測定された周波数の代表的な平均値を得るために十分な数の測定がなされる限り、無作為選択でもよく、またはある特定の判断基準に基づいて選択してもよい。測定は任意の適宜な方法で行えばよい。例えば、選択された各F B A Rを、印加された信号に応答してF B A Rの周波数応答を測定するためのデバイスと結合されたウェーハ・プローブと接続してもよい。印加される信号の周波数は、F B A Rがその直列または並列の特性共振周波数を示すまで必要に応じて変更される。説明上の目的で、この工程は選択されたウェーハの直列共振周波数を測定するために実施されるものと想定する。

図7はダイシングされる前のウェーハ20の例を示している。ウェーハ20上に複数個のF B A Rが製造される。各々のF B A Rは図7では正方形で示されている。代表的な1つのF B A Rには“19”の表示がなされている。“×”の表記が

あるF B A Rは測定用に選択されたF B A Rを示している。

選択されたF B A Rが示す測定された直列共振周波数に基づいて、その後、これらの周波数の平均値が計算される。単一のウェーハ上に位置するF B A Rは一般的にはウェーハ上に位置する他のF B A Rの共振周波数の1 %内にあるので、計算された平均値はウェーハ上に位置する各々のF B A Rの直列共振周波数を代表するものと見なしてもよい。

図3 aはウェーハ20の一部上に構成されたF B A R 19'を示している。説明上の目的で、F B A R 19'が計算された平均の直列共振周波数を生ずるF B A Rを表すものと見なす。更に説明上の目的で、F B A R 19'を“実際の代表的なF B A R 19'”と表記する。例えばF B A R 19'の製造プロセス中の精密ではない層形成により、F B A R 19'を形成する層の厚みがF B A R 19を形成する層の厚みとは異なっていると見られることを除いては、F B A R 19'は、図2の設計上の代表的なF B A R 19と同類の素子から構成されている。図3 aは更に厚みがTの実際の代表的なF B A R 19'の上部電極28をも示している。

ブロック11で示されている次の工程用には、計算された直列共振周波数の平均値が（図1では“基準共振周波数”とも呼ばれている）設計上の直列共振周波数（例えば954.6MHz”の許容誤差限度（例えば $\pm 1\%$ 以内）にあるか否かが判定される。計算された直列共振周波数の平均値が設計上の直列共振周波数の許容誤差限度内にある場合は、次にウェーハがチップへと切断され（ブロック18）、それ以上の工程を実施する必要はない。

しかし、1つの例では、計算された平均共振周波数が

954.6MHzの設計直列共振周波数の許容誤差限度($\pm 1\%$)以内でない、約917MHzであるものと想定してある。従って、ウェーハ上に位置しているF B A Rの少なくとも相当数が設計厚さの許容差以内でない厚みを有する層からなっているものと結論づけることができる。このような場合は、次にブロック12および14で示した更に別の処理プロセスが実行される。

ブロック12で示した工程は、F B A Rによって生ずる直列共振周波数と、F B A Rの上部電極の種々の厚みとの関連を示したグラフである図5を参照して理解されよう。グラフから理解できるように、各々の特定の直列共振周波数の逆数は

上部電極の対応する特定の厚みの関数である。この関係は実際には一次関数であり、“30”と表記した線によって示されている。デバイスの厚さに関するモデリングは、バラト、ヘンリー エル. ベルトーニ、およびテオドール タミール共著の論文“マイクロ波ネットワーク方式による積層水晶フィルタの体系的設計”(IEEE紀要、マイクロ波理論技術、MTT22巻、14-25ページ、1974年1月刊)に記載されている技術を含む、任意の適宜の技術を利用して実施できることに留意されたい。

図5に示した関係は、FBARの直列共振周波数を設計直列周波数の許容誤記限度(例えば $\pm 1\%$ 以内)内に同調させるために、ウェーハ上のFBARの上部電極から除去する必要がある材料の数量(“数量(A)”)とも呼ばれる)を決定するために用いられる。これは下記の態様で達成される。すなわち、917MHzであると計算された平均直列共振周波数を用いて、この周波数に対応する上部電極

の厚みが図5に示した一次関係式から補間される。例えば、917MHzの共振周波数は、上部電極の厚みが約386nmである場合に生ずることが判る。図5からは更に、954.6MHzである設計、すなわち“目標”直列共振周波数に日として直列共振周波数を達成するには、上部電極の厚みを86nmだけ薄くして、約300nmの厚みにする必要があることも判る。実施された実際の計算は、厚さのこのように薄くすることによって目標周波数よりも0.29%(すなわち1%未満)上回る957.42MHzの共振周波数が生じるものと想定している。この工程は例えばコンピュータ・プログラムのような任意の適宜の手段で行ってもよいことに留意されたい。

次の処理工程は図1のブロック14に示されている。この工程中、例えば、後述するようにフッ素プラズマ(以下では“Fプラズマ”と呼ぶ)を用いたドライエッチングによってウェーハ上の各FBARの上部電極から材料が除去される。この工程を実施する前に、エッチング・プロセスによって影響を受けないようにFBARと、エッチングされないウェーハの部分を保護してもよい。例えば、FBARの領域、およびエッチングされないウェーハの領域の上にFプラズマ中で侵されない材料をスパッタリングしてもよい。次に、例えば窒化アルミニウム(AIN)、アルミニウム(Al)または酸化亜鉛(ZnO)を含む材料を適宜にパターン形成して

、保護薄膜層31を形成する（図3b）。

その後、ウェーハ上のそれぞれ個々のFBARの上部電極を例えばFプラズマ中でエッチングすることによって、ブロック12で示した工程で計算された数量(A)(例えば8

6nm)だけ上部電極の厚みを薄くする。図4は上部電極の厚みTをT'の厚さまで(A)の量だけ薄くした後の、実際の代表的なFBAR19'の例を示している。

共通のウェーハ上に位置するFBARは一般的にはウェーハ上の位置する他のFBARの共振周波数の1%以内の共振周波数を示すので、（直列共振周波数で計算した平均値に基づき）FBARの上部電極の厚みを減らすことによって、それぞれのFBARは設計直列共振周波数にはほぼ等しく、かつ少なくとも設計直列共振周波数の±1%の誤差限度内にある直列共振周波数を生ずるようになる。このようにして、ウェーハ上の各FBARは同時に同調される。説明上の目的で、同調されたFBARを有するウェーハは“同調されたウェーハ”と呼ぶことにする。

上部電極の厚みを薄くした結果は選択された数のFBARの直列共振周波数を再測定し（ブロック10）、その後、前述したと同様の方法で上記の測定された周波数の平均値を計算することによって確認できる。再測定された直列共振周波数で計算した平均値が目標直列共振周波数の許容誤差限度内にあることが判定された場合は（ブロック11）、上部電極を厚みを減らすためにそれ以上のドライエッチングは必要なく、その後でウェーハをチップ状に切断してもよい（ブロック18）。これらの周波数の計算された平均値が許容誤差限度を超えているものと判定された場合は、FBARが良好に同調したことが判定されるまで、次にブロック12、14および10で示した工程が再度実施される。その後、ウェーハ20をチップ状に切断してもよい（ブロック18）。

この説明は例示することを意図したものであり、本発

明の範囲を限定するものではないことに留意されたい。例えば、上記の方法を既に切断されたウェーハの一部の上に位置する単一のFBARに実施してもよい。

この場合は、直列共振周波数の平均値を得るための計算は実施する必要がなく、単一のFBARによって生ずる直列（または並列）共振周波数の測定に基づいてのみ上記工程を実施すればよい。更に一例として、選択された数のFBARの直列共振周波数を測定し、同調させるのではなく、これらのデバイスの並列共振周波数を測定し、同調させることによって上記の方法を実施してもよい。更に、Fプラズマの代わりに塩素プラズマを利用して、または上部電極を形成する材料の性質に応じた任意の適宜の材料除去方法を利用して上部電極のエッチングを行ってもよい。更に、図2、3a、3bおよび4に示したFBARおよび、後述する図6aおよび6bに示したFBARは例示目的を意図したものであり、本発明の方法は任意の別の種類のFBAR構造でも実行できることを理解されたい。例えば、本発明の方法はモリブデン(Mo)ではなくタングステン(W)またはタンタル(Ta)からなる上部電極28を有するFBARに実施することもでき、またはFBAR層の構造が異なってもよい。

FBARの上部電極の厚さを薄くすることによってFBARのそれぞれの直列抵抗が増大する。例えば、個々のFBARの上部電極をエッチングする前は、FBARの内部損失抵抗は0.5オームまたはそれ未満である。更に、上部電極がMoからなり、厚みが300nmである場合、上部電極の面積抵抗は0.41オームである。従って、FBARの総直列抵抗（所定面積の上部および下部電極の抵抗）は2.1

オームである。上部電極から80nmの材料を除去すると、FBARの総直列抵抗は2.4オームに増大し、FBARのQの値は12%だけ減少する。このような直列抵抗が特定の用途で悪影響を及ぼすことが知られている場合は、厚みが400nmである上部電極と、対応して薄い厚みを有するZnO層を有するようにFBARを設計してもよい。

上記の方法が複数個のウェーハのFBARを同調させるために利用される例では、複数個のウェーハのFBARによって生ずる直列共振周波数には3%の標準偏差があるものと想定される。目標共振周波数の4.5%以下の共振周波数を生ずるようにFBARを設計することによって、ウェーハの99.7%を良好に同調させ

ることができる。

本発明に基づいて、本方法は上部電極を縮小するのではなく、個々のF B A Rの別の層を縮小することによっても実施できる。より具体的には、ブロック10および11で示した工程を実施した後で、F B A Rが共振をする周波数に影響を及ぼす厚みと材料の別のF B A R層にブロック12の工程を実施してもよい。例えば、図6 aは基板20と、空隙34と、酸化シリコン(SiO_2)製の薄膜29と、圧電層26と、上部および下部電極28および24のそれぞれからなるF B A R 22'の実施例を示している。F B A R内に形成された薄膜はF B A Rが共振を示す周波数に影響を及ぼす厚みを有していることが知られている。従って、種々の薄膜の厚みとF B A Rの共振周波数との周知の関係に基づいて、薄膜29の厚みT 1を変更（例えば縮小）することによってF B A R 22'を同調させることができる。薄膜の厚みの変更は例えば写真石版技術のような任意の適宜の技術によって行えばよい。例えば、空隙34を通して薄膜

29を気相エッチングすることができる。薄膜の厚みをそのようにして変更した後、ブロック10、11および18に示した工程を実施すればよい。図6 bは薄膜29の厚みT 1を厚みT 1'に縮小した後のF B A R 22'を示している。

本発明に基づいて更に、F B A Rの一部（例えば上部電極）に材料を加えることによって各々のF B A Rを同調させることができる。1つの実施例では、単一のウェーハの用例で前述したと同様に、ブロック10、11および12で示した工程の実施によって、図5に示した相関関係に基づいて、厚みが250nmである上部電極に対応する計算された平均直列共振周波数が生ずるものと想定されている。このような場合、図5のグラフに基づいて、直列共振周波数を954.6MHzの目標直列共振周波数に同調させるためには上部電極に50nmの材料を追加する必要があるとの結論を得ることができる。従って、その後で例えば真空蒸着によって上部電極に50nmの（例えばモリブデン）を蒸着することができ、F B A Rが良好に同調されるまで本発明のその他の工程を実施すればよい。蒸着が所望の位置にだけ行われるように、最初に適宜のマスクを備える。

金属層を追加することによって上部および下部電極は互いに短絡する場合があ

ることに留意されたい。このような場合は、短絡をなくするために追加された層の一部を除去する必要がある。これは例えば、写真石版技術を利用して短絡を生ずる層の一部を除去することによって達成できる。しかし、F B A Rがブリッジ構造からなる場合には、層の一部を除去するために例えばレーザー切断のようなより簡単な技術を実施してもよい。

本発明の別の側面では、それぞれのF B A Rの一部に誘電材料層を加えることによって同調を達成してもよい。図8は本発明のこのような側面に基づいて実施される工程の流れ図を示している。ブロック10'、11'、および18'で示した工程は図1のブロック10、11、および18で示した工程と同様に実施される。1つの実施例では、単一ウェーハの用例に関して上述したと同様に、ブロック10'および11'で示した工程を実施することによって994.28MHzの計算された平均直列共振周波数が生ずるものと想定されている。この周波数は例えば、設計厚さよりも4%薄い厚さの層を有してF B A Rが製造されたことに起因するものである。

ブロック10'および11'で示された工程を実施した後、ブロック12'で示した工程が実施される。この工程は、F B A Rが生じた直列共振周波数と、例えば酸化亜鉛(ZnO)だけからなる追加の誘電材料層の種々の厚みとの関連を示したグラフを示す図10を参照して理解されよう。グラフから明らかであるように、各々の特定の直列共振周波数の逆数はZnOの追加層の対応する厚みの関数である。

図10を参照すると、この例では、目標周波数（例えば954.6MHz）の逆数に達するには、計算された平均直列共振周波数（例えば994.28MHz）の逆数を0.04185GHzだけ増大させる必要があることが判る。更に、上記の結果を達成し、かつ直列共振周波数を954.6MHzである目標の直列共振周波数に同調させるには、F B A Rの選択された部分に厚さ149nmの層を形成する必要があることも判る。

ブロック12'の工程を実施した後、次にF B A Rの選択さ

れた部分に材料を蒸着して、厚さが約149nmの“追加”層が形成される。材料の蒸着は好適には機械的マスクを用いて実施する。例えば、図9は機械的マスク内の（正方形(S)で囲まれた）開口部を示している。開口部の長さは例えば約1mm

である。マスク開口部を通して、基板S1上に形成された（はしご状フィルタの一部として示された）種々のFBAR(F)の選択された部分に適量の誘電材料が蒸着される。機械的マスクは任意の適宜の材料のものでよく、例えば(100)のシリコン・ウェーハの異方性エッチングによって形成したものでよい。

ブロック12'で示した工程を実施した後、FBARの良好な同調が達成されるまで本発明の方法の残りの工程を実施すればよい。実施された実際の計算では、厚さが149nmのZnO層を追加すると、目標周波数よりも0.02%下回る954.4MHzの共振周波数が生ずるものと想定されている。

FBAR上に誘電材料を蒸着した後、材料の一部が電極の接点パッドを覆っていることがある。その場合は、接点パッドにワイヤを結線できるように蒸着された材料の上記の部分が除去される。これは前述の写真石版技術またはレーザー切断技術を用いて達成できる。

上記の実施例は本発明を限定することを意図するものではなく、本発明の方法を実施するためにその他の適宜の材料およびその他の手段を使用することに留意されたい。例えば、ブロック12'で示した工程を例えばコンピュータ・プログラムのような任意の適宜の手段で実施してもよい。更に、ZnOの代わりに任意の適宜の誘電材料をFBARに追加してもよいことに留意されたい。しか

し、FBARの圧電層もZnOからなっている場合は、追加層を形成するにはZnOを使用することが好適である。というのは、双方の層のスパッタリングが容易になるからである。

これまで本発明を好適な実施例に基づいて特に図示し、説明してきたが、本発明の範囲と趣旨を離れることなく形状と細部の変更が可能であることが当業者には理解されよう。

【図 1】

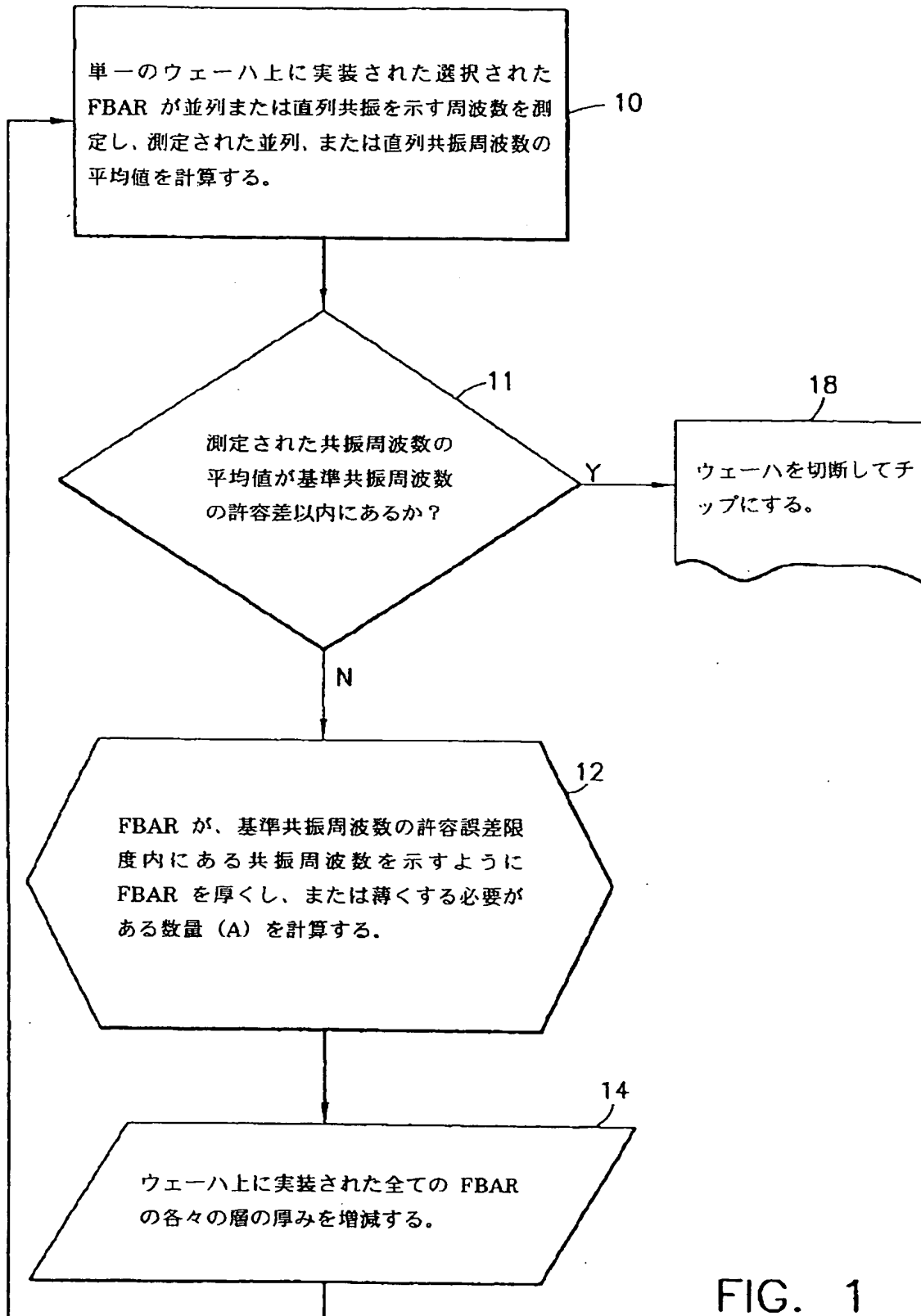


FIG. 1

【図 2】

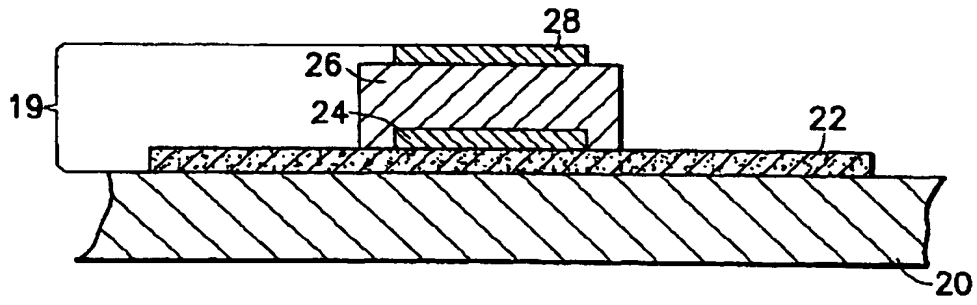


FIG. 2

【図 3】

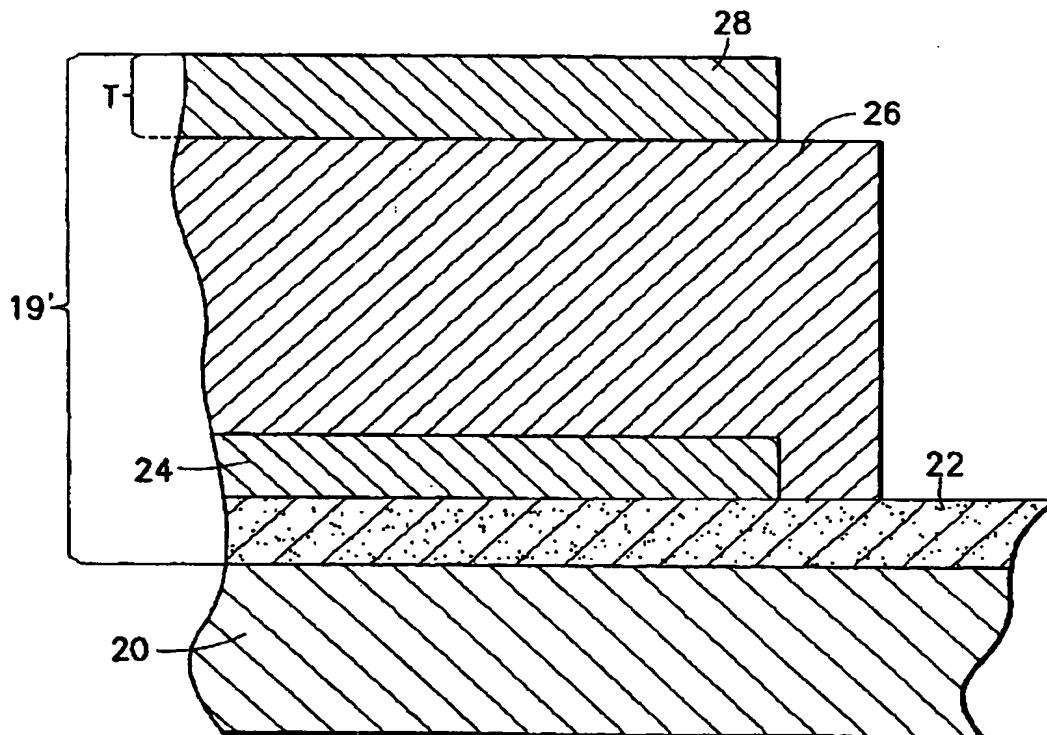


FIG. 3a

【図3】

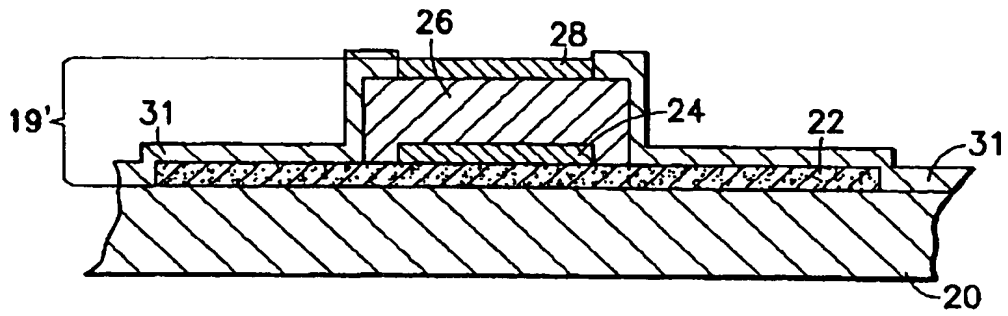


FIG. 3b

【図4】

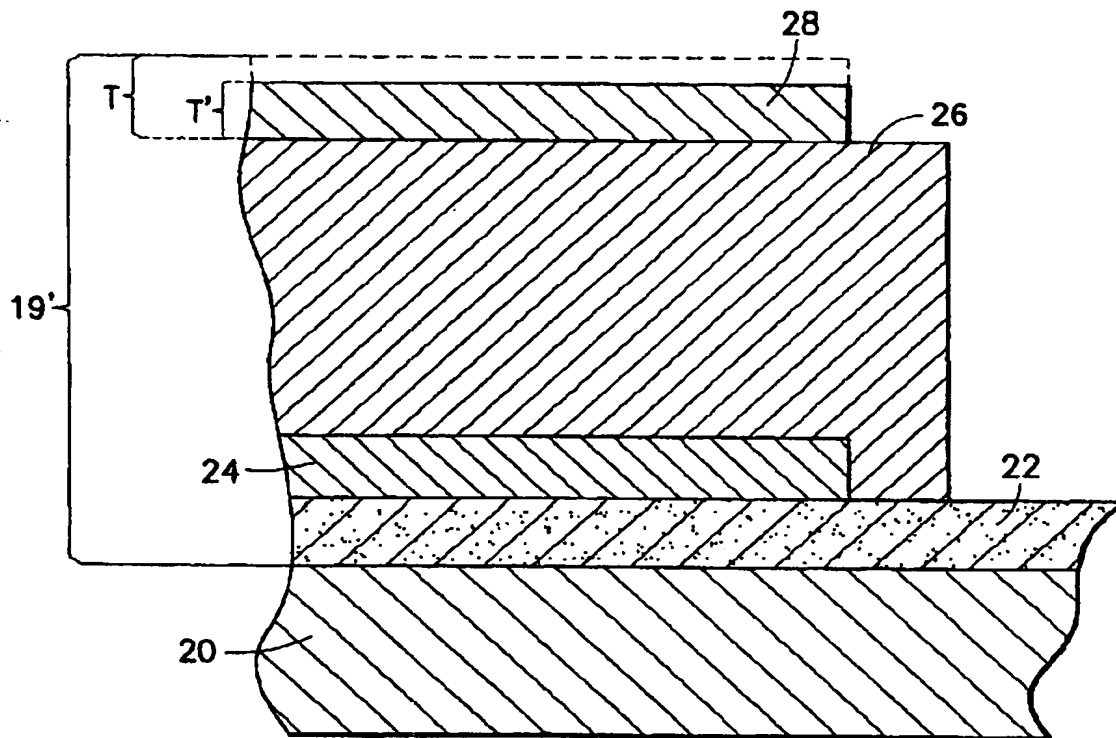


FIG. 4

【図5】

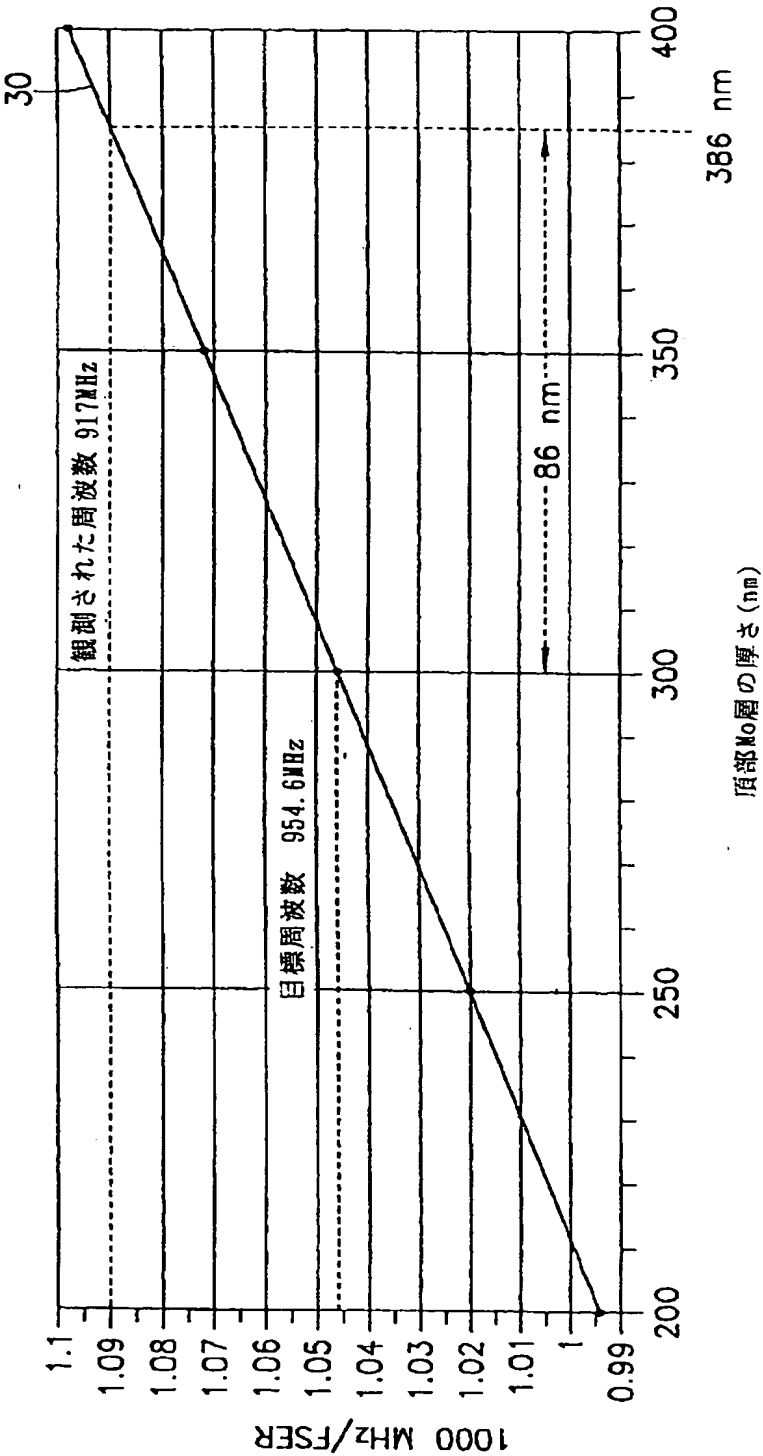


FIG. 5

【図6】

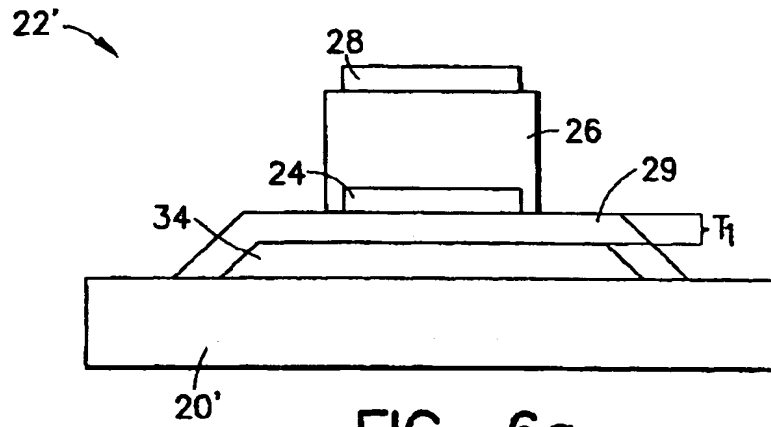


FIG. 6a

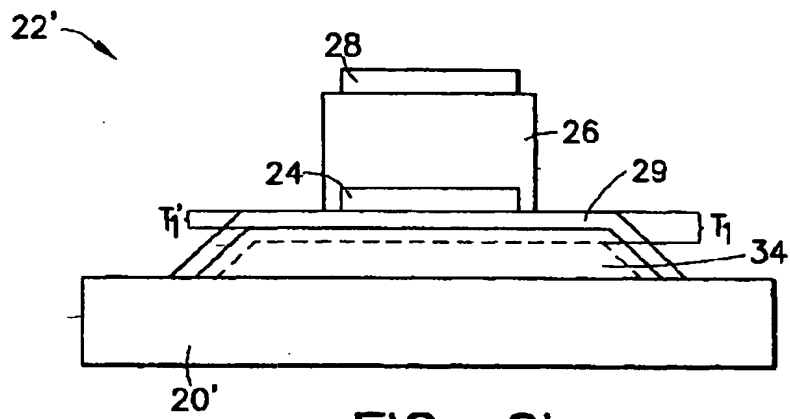


FIG. 6b

【図7】

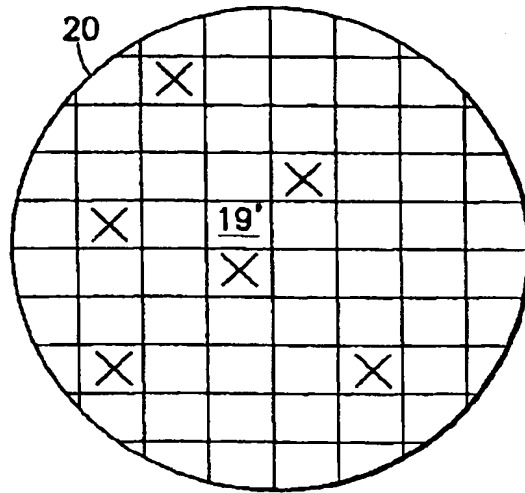


FIG. 7

【図8】

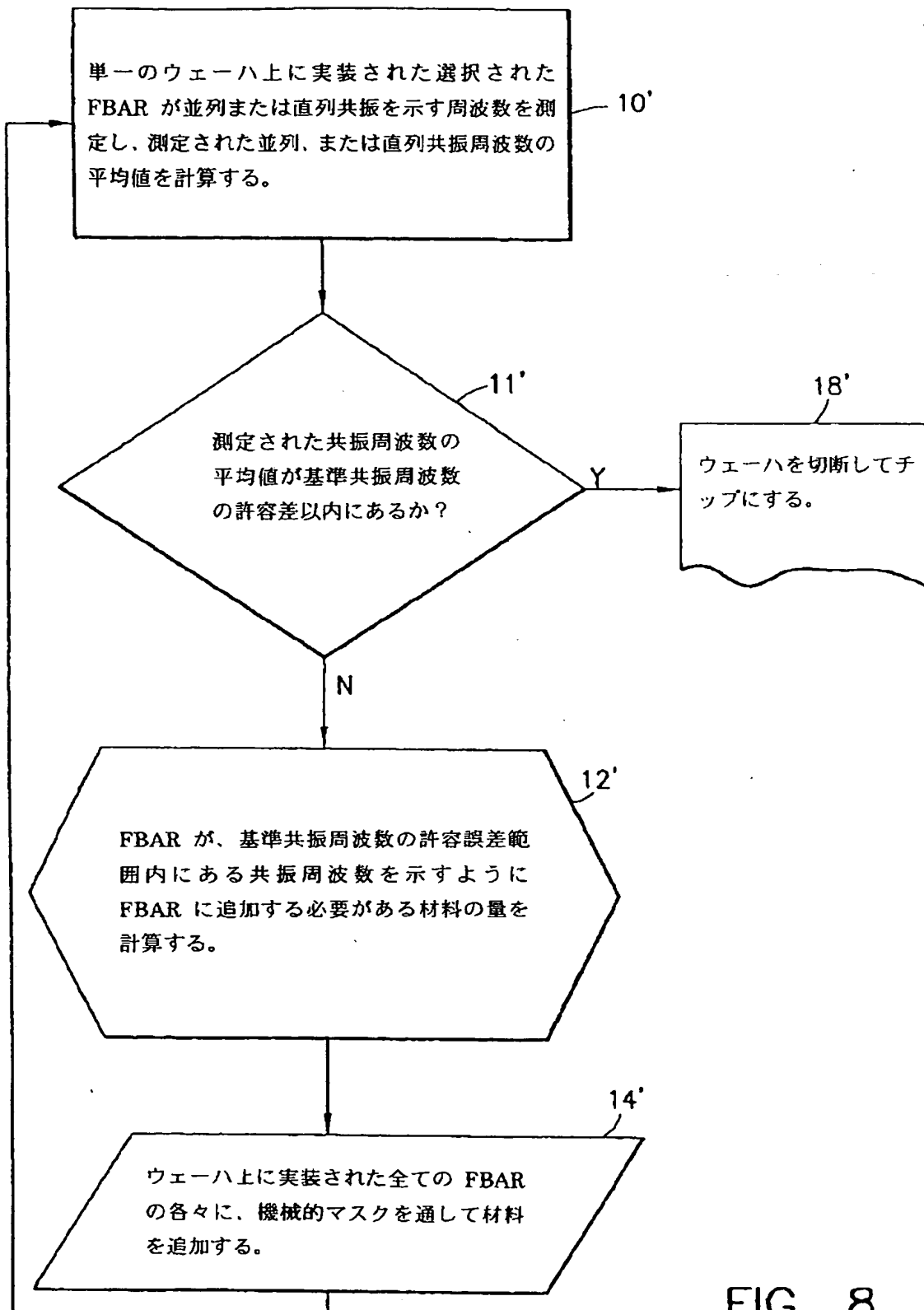


FIG. 8

【図9】

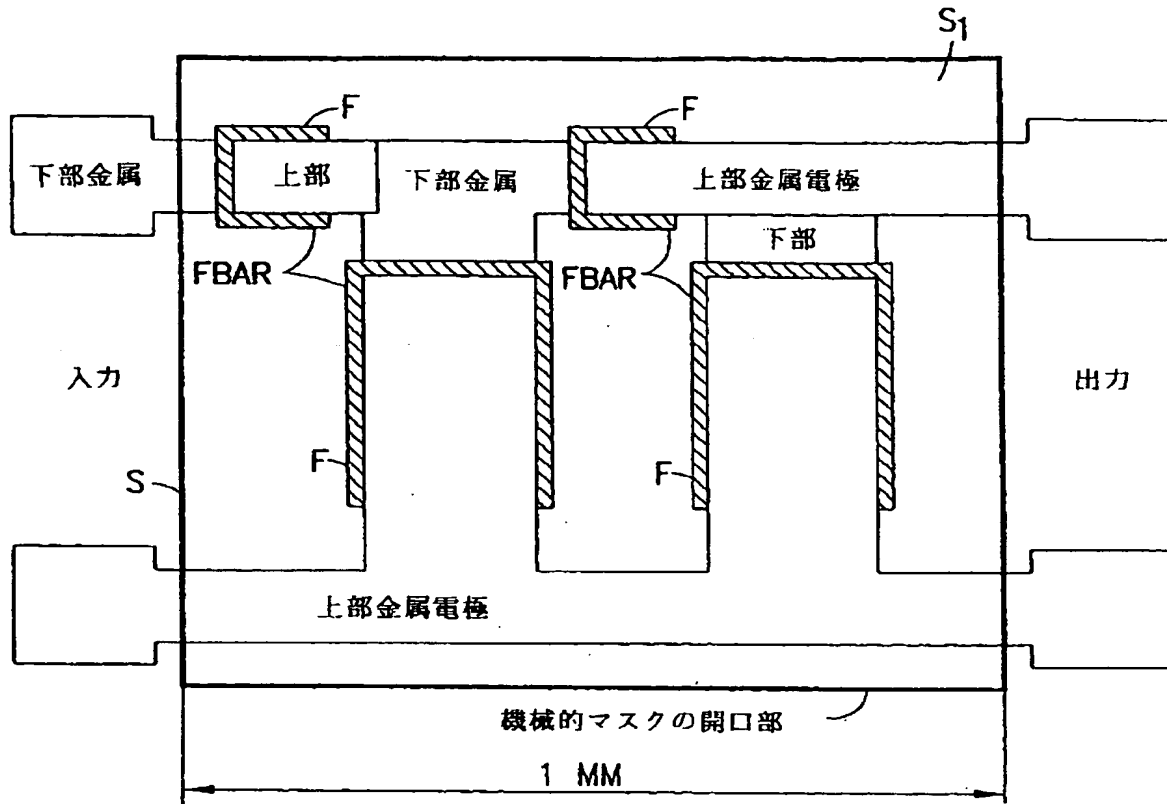


FIG. 9

【図11】

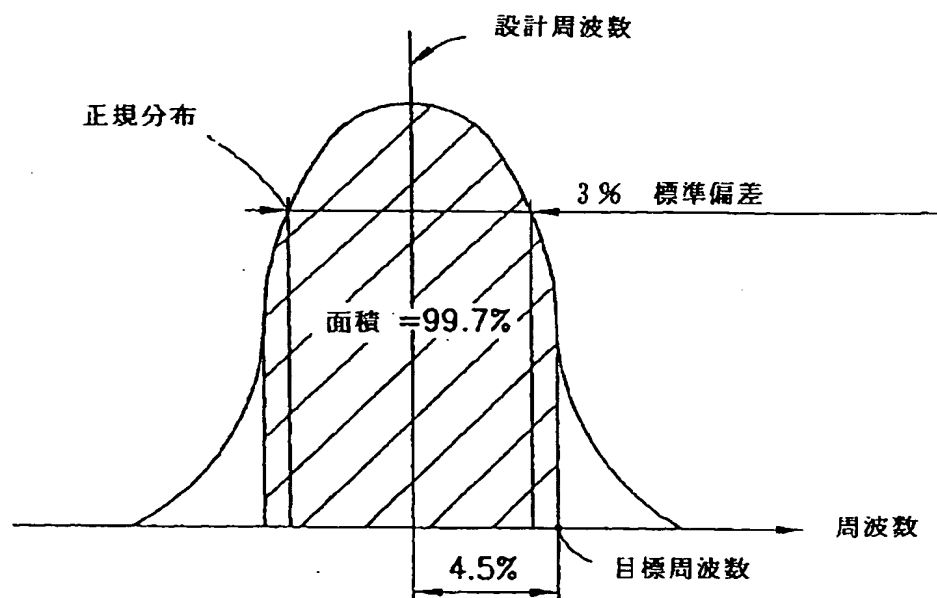
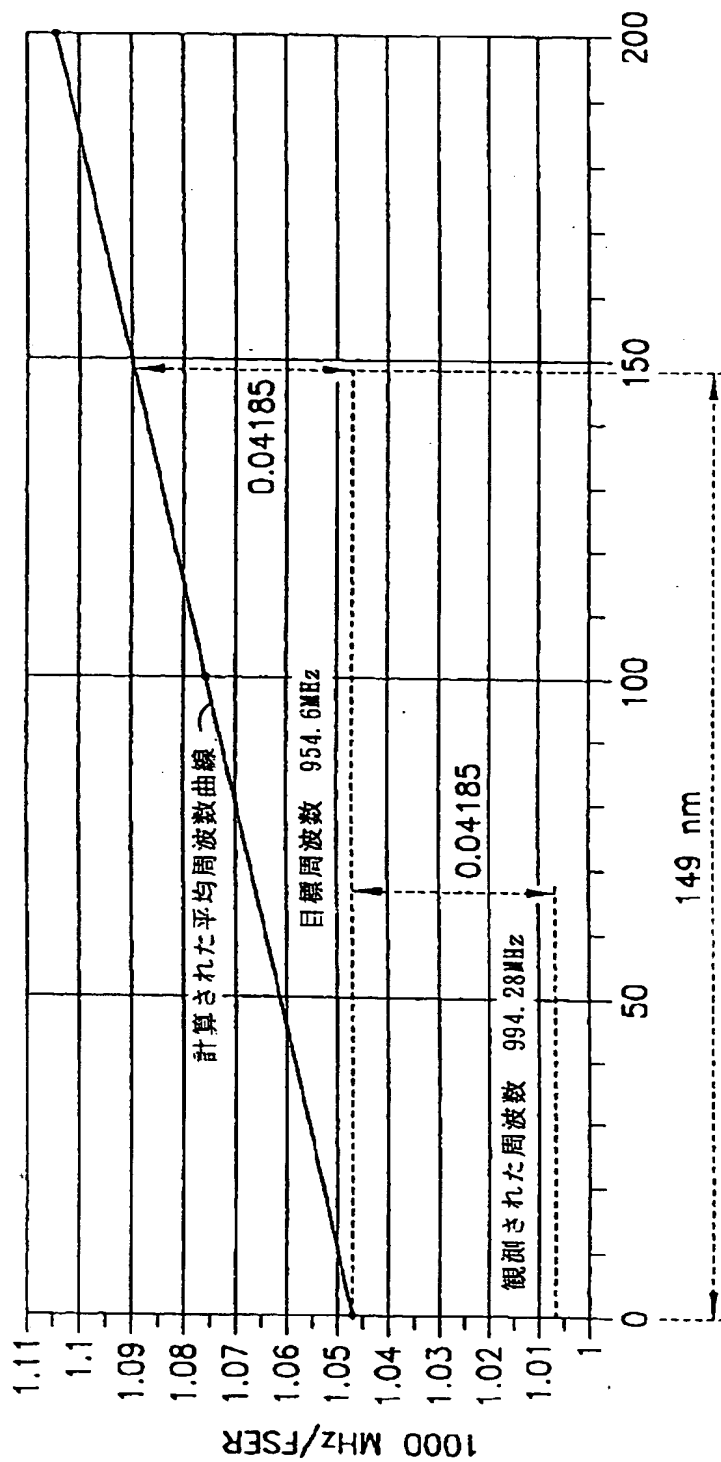


FIG. 11

【図10】



追加される酸化亜鉛層の厚さ (nm)

FIG. 10

【手続補正書】特許法第184条の8第1項

【提出日】平成10年8月14日（1998. 8. 14）

【補正内容】

請求の範囲

（請求の範囲第1項、第8項、第10項および第14項～第17項を補正。）

1. それぞれの厚さを有する複数個の層を備えた、ウェーハ上に構成された薄膜バルク音波共振子(FBAR)を同調するための方法であって、

該FBARがウェーハから分離される前に、

該FBARが直列共振と並列共振のいずれかを示す周波数を測定する工程と、

測定された周波数と基準周波数との差異を最小にするために、当該少なくとも1つの層の厚さと、直列共振と並列共振のいずれか1つの周波数とのあいだの所定の関係にもとづいて、該FBARの少なくとも1つの層の厚さが変更される必要がある量(A)を算出する工程と、

少なくとも1つの層の厚さを該量(A)だけ変更し、これによって測定された周波数と基準周波数との差異を最小にする工程

とからなる方法。

2. 前記少なくとも1つの層が上部電極であることを特徴とする請求の範囲第1項記載の方法。

3. 前記少なくとも1つの層が薄膜層であることを特徴とする請求の範囲第1項記載の方法。

4. 前記変更工程を、少なくとも1つの層の一部を除去するか、または少なくとも1つの層に材料を追加するいずれか一方によって実施することを特徴とする請求

の範囲第1項記載の方法。

5. 前記変更工程を、上部電極をエッチングすることによって実施することを特徴とする請求の範囲第2項記載の方法。

6. 前記変更工程を、少なくとも1つの層の少なくとも一部の上に金属材料を蒸着することによって実施することを特徴とする請求の範囲第1項記載の方法。

7. 前記変更工程を写真石版技術によって実施することを特徴とする請求の範囲第3項記載の方法。

8. 薄膜バルク音波共振子(FBAR)がウェーハから分離される前に、複数のFBARを同時に同調する方法であって、

該複数のFBARのうちから選択された複数のものが共振を示す周波数であって、該選択されたFBARの厚さの関数である周波数を測定する工程と、

該測定された周波数の平均を算出する工程と、

該算出された測定周波数の平均と、基準周波数とのあいだの差異を実質的に最小にするために、当該選択されたFBARの厚さが変更されることを必要とする量(A)を算出する工程と、

基準周波数と、測定された周波数の算出された平均とのあいだの差異を減少させるために、該複数のFBARがウェーハから分離される前に、該複数のFBARのそれぞれの厚さを該量(A)だけ同時に変更する工程

とからなる方法。

9. 変更工程を実施した後で、ウェーハを切断してFBARのチップにする工程を更に含むことを特徴とする請求の範囲第8項記載の方法。

10. 薄膜バルク音波共振子(FBAR)上に1つの層が形成される前に直列共振および並列共振のうちの少なくとも1つを示し、該層がFBARの少なくとも一部の上に形成されたのち、該FBARが直列共振と並列共振のうちの少なくとも1つを、該層の厚さの関数である周波数で示し、ウェーハ上に構成されたFBARを同調させる方法であって、

該FBARがウェーハから分離される前に、

該層がFBAR上に形成される前に、直列共振と並列共振のうちの1つを示す周波数を測定する工程と、

該FBAR上に形成されたのち、測定された周波数と、基準周波数とのあいだに最小にされるべき差異を惹起する層の厚さを算出する算出工程であって、該FBARの層の厚さと、共振周波数とのあいだの所定の関係にもとづいて行われる工程と、

前記算出工程において決定された厚さを有するように層を形成する工程であって、これによって測定された周波数と、基準周波数とのあいだに最小にされるべき差異を惹起する工程

とからなる方法。

11. 前記層が誘電材料からなることを特徴とする請求の範囲第10項記載の方法。

12. 前記層を酸化亜鉛(ZnO)から形成することを特徴とする請求の範囲第10項記載の方法。

13. 機械的マスクを使用して前記形成工程を実施することを特徴とする請求の範囲第10項記載の方法。

14. 薄膜バルク音波共振子(FBAR)がウェーハから分離される前に、複数のFBARを同時に同調する方法であ

って、

(i)前記複数のFBARのうちの選択された複数のものが共振を示す周波数であって、複数のFBARのうちから選択されたものの厚さの関数である周波数を測定する工程と、

(ii)測定された周波数の平均を算出する工程と、

(iii)前記FBAR上に設けられたのち、測定された周波数と、基準周波数とのあいだに実質的に最小にされるべき差異を惹起する、少なくとも1つの層の厚さを算出する工程と、

(iv)FBARがウェーハから分離される前に、複数のFBAR上で、前記工程(iii)において算出された厚さを有する少なくとも1つの層を同時に形成し、それにより基準周波数と測定された周波数の平均値との差を実質的に最小にする工程

とからなる方法。

15. 前記少なくとも1つの層が誘電材料からなる請求の範囲第14項記載の方法。

16. 前記少なくとも1つの層が酸化亜鉛からなる請求の範囲第14項記載の方法。

17. 前記工程(iv)が機械的なマスクを用いて行われる請求の範囲第14項記載の方法。

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US97/16234

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC(6) HO1L 41/08

US CL 310/311

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

U.S. : 310/311, 312, 324, 366

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5,587,620 A (RUBY ET AL) 24 DECEMBER 1996 (24.12.96), SEE ENTIRE DOCUMENT.	1, 3, 4-7, 10-13
Y		2, 5, 8, 9, 14-17
Y	US 4,418,299 A (MOMOSAKI) 29 NOVEMBER 1983 (29.11.83), SEE ENTIRE DOCUMENT.	8, 9 AND 14-17
Y	US 3,916,490 A (SHEAHAN ET AL) 04 NOVEMBER 1975 (04.11.75), SEE ENTIRE DOCUMENT.	2 AND 5
Y	US, 3,760,471 A (BORNER) 25 SEPTEMBER 1973 (25.09.73), SEE ENTIRE DOCUMENT.	2 AND 5

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date that not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"B" earlier document published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Z" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search

23 DECEMBER 1997

Date of mailing of the international search report

96 FEB 1998

Name and mailing address of the ISA/US
Commissioner of Patents and Trademarks
Box PCT
Washington, D.C. 20231

Facsimile No. (703) 305-3230

Mathew Officer
MARK BUDD

Telephone No. (703) 308-3929

フロントページの続き

(81)指定国 EP(AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AP(GH, KE, LS, MW, SD, SZ, UG, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, GH, HU, ID, IL, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, UZ, VN, YU, ZW